

## خلاصه گزارش مدیریتی

## عنوان پروژه:

استحصال عناصر خاکی نادر اسکاندیوم، ساماریوم و لوتیم از محلول لیچینگ کنسانتره آنومالی شماره ۵ ساغد

## اهداف پژوهش:

هدف از انجام این پژوهش دستیابی به دانش فنی تولید اکسیدهای نادر خاکی اسکاندیوم، ساماریوم و لوتیم از محلول حاصل از فروشویی کنسانتره آنومالی شماره ۵ ساغد بود. این محلول علاوه بر عناصر نادر خاکی، دارای مقادیر قابل توجهی از عناصر پرتوزای اورانیوم و توریوم در کنار ناخالصی‌هایی از قبیل آهن، تیتانیوم، آلومینیوم، کلسیم و منیزیم بود. در جدول ۱ مقادیر عناصر موجود در این محلول ارائه شده است. همانطور که به خوبی در این جدول قابل مشاهده است، غلظت مجموع عناصر پرتوزای اورانیوم و توریوم بیش از ۳۰۰ ppm می‌باشد. همچنین مجموع غلظت عناصر نادر خاکی این محلول حدود ۲۶۴۰ ppm و غلظت مجموع ناخالصی‌های آن حدود ۴۶۳۷۰ ppm است که بیانگر نسبت حدود ۱۸ برابری ناخالصی‌ها به عناصر نادر خاکی محتوای محلول می‌باشد.

جدول ۱: آنالیز شیمیایی محلول حاصل از فروشویی کنسانتره آنومالی شماره ۵ معدن ساغد.

عناصر	Ca	As	Al	Cu	Cr	Co	Ga	K	Mg	
غلظت (ppm)	1172.4	16.2	1815.2	11.8	421	23.1	6.5	144	3517	
Nb	Na	Mn	Pb	P	Ni	Sr	Ti	V	Te	
45.7	101.7	631	6	890	2.5	17.2	17050	57	5	
Zr	Zn	Fe	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	
88	58	21795	866	752	57	111	26.2	1.1	35.7	
Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Sc	Y	U	Th
8	74	9.7	73	9.6	88	10.6	7.9	521	225	86

با توجه به آنالیز شیمیایی محلول حاصل از فروشویی می‌توان اجزای اصلی این محلول را به چهار بخش عناصر نادر خاکی سبک، عناصر نادر خاکی سنگین، عناصر پرتوزا و عناصر ناخالصی تقسیم بندی و درصد هر یک از آنها در کل محلول را ارائه کرد. در جدول ۲ نتایج حاصل از این بررسی ارائه شده است. همانطور که مقادیر ارائه شده در این جدول نشان می‌دهد، مجموع عناصر نادر خاکی محتوای محلول حدود ۵,۳ درصد از کل عناصر را تشکیل می‌دهد که از این مقدار حدود ۷۰ درصد آن را عناصر نادر خاکی سبک و ۳۰ درصد آن را عناصر نادر خاکی سنگین تشکیل می‌دهند. نکته حائز اهمیت دیگر غلظت عناصر اسکاندیم، ساماریوم و لوتتیم این محلول است که کمتر از ۰,۱ درصد از کل مجموع عناصر موجود در این محلول را تشکیل می‌دهند.

جدول ۲: سهم اجزای اصلی تشکیل دهنده محلول حاصل از فروشویی.

ردیف	نوع بخش	مقدار (ppm)	درصد از نادرهای خاکی	درصد از کل
۱	مجموع نادرهای خاکی	۲۶۴۲,۹	۱۰۰	۵,۳
۲	مجموع نادرهای خاکی سبک	۱۸۱۳,۳	۶۸,۶	۳,۷
۳	مجموع نادرهای خاکی سنگین	۸۲۹,۶	۳۱,۴	۱,۶
۴	مجموع ناخالصی های فلزی	۴۶۳۶۶,۶	---	۹۴
۵	مجموع اورانیوم و توریم	۳۱۱	---	۰,۶
۶	مجموع عناصر اسکاندیم، ساماریوم و لوتتیم	۴۴,۷	۱,۷	۰,۰۹

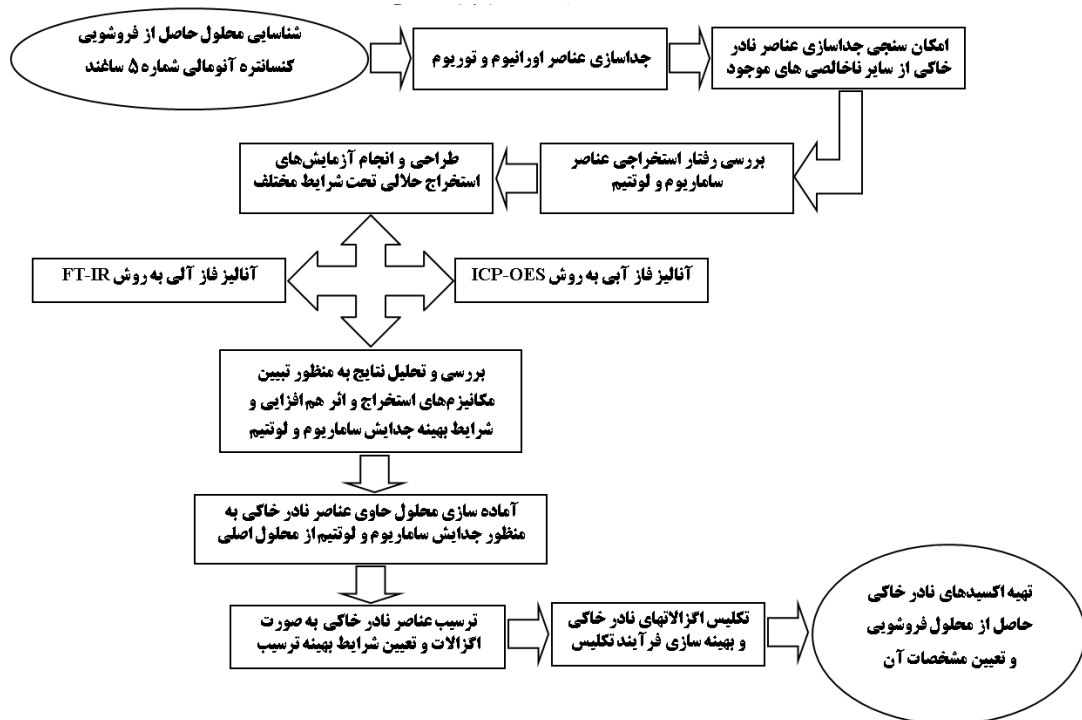
با توجه به نکات ارائه شده از محلول مورد نظر این پروژه، اهداف پژوهش حاضر به ترتیب زیر باز تبیین

شد:

- ۱- حذف عناصر پرتوزای اورانیوم و توریم
- ۲- جدایش عناصر نادر خاکی از ناخالصی های همراه
- ۳- جدایش عناصر نادر خاکی ساماریوم، لوتتیم و اسکاندیم
- ۴- ترسیب عناصر نادر خاکی محتوای محلول
- ۵- تهیه اکسیدهای نادر خاکی از ترکیب رسوب داده شده

## روش انجام پژوهش:

با توجه به اهداف تبیین شده روند نمای انجام پژوهش مشخص شد که در شکل ۲ ارائه شده است. همانطور که در این شکل ملاحظه می شود پژوهش حاضر با محوریت حذف ناخالصی ها و جداسازی عناصر اسکاندیم، ساماریوم و لوتیم انجام شده است. همچنین در این پژوهش برای آنالیز فاز آبی از ICP-OES موجود در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی و برای آنالیز فاز آلی از FT-IR موجود در دانشکده شیمی دانشگاه علم و صنعت ایران استفاده شده است.



شکل ۲: روند نمای انجام پژوهش.

## نتایج پژوهش و دستاوردها:

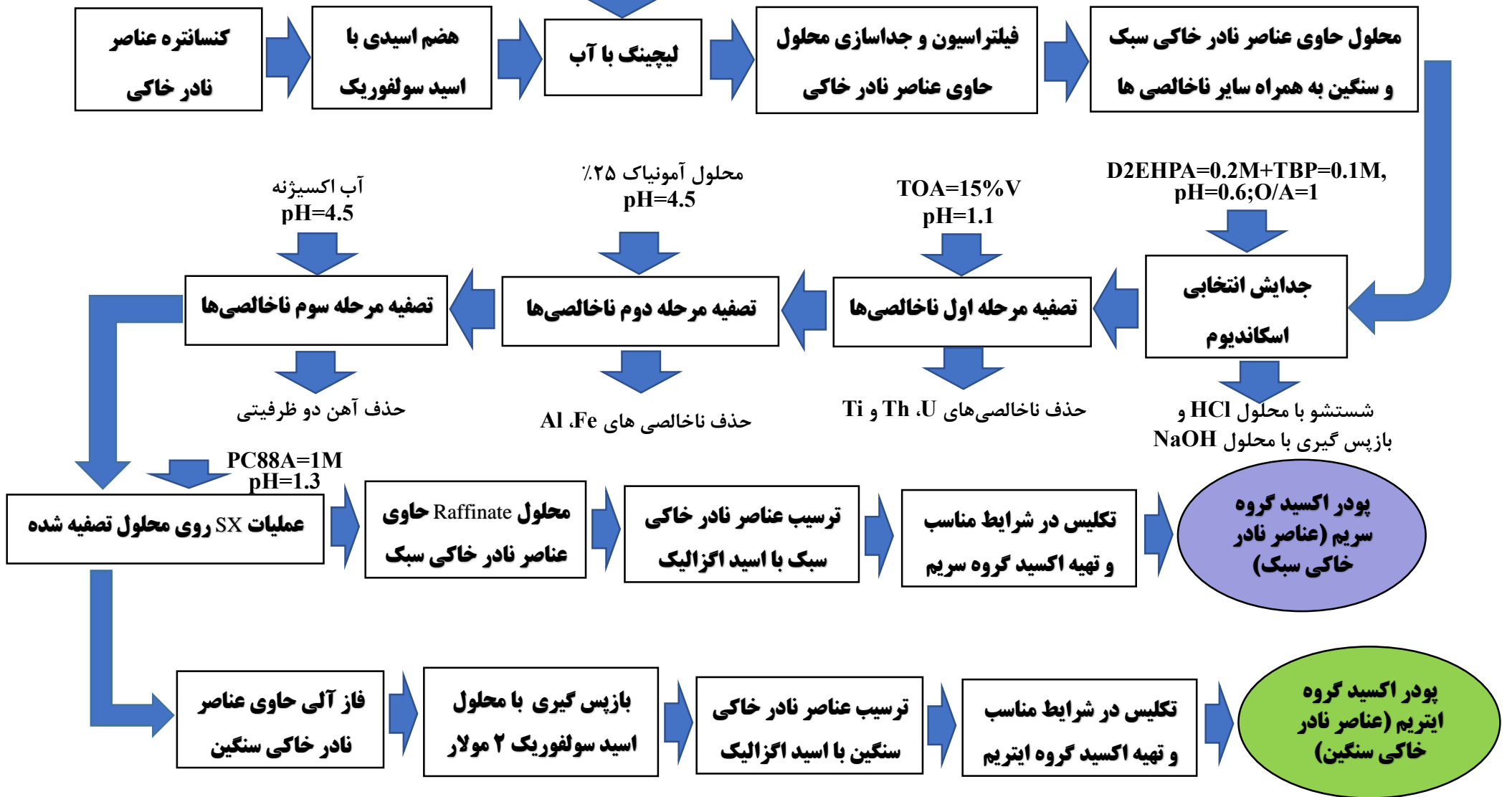
با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش‌های مختلفی که در چهار بخش کلی استخراج حلالی و ترسیب ناخالصی‌ها، استخراج حلالی و بازیابی عناصر نادر خاکی مورد نظر، ترسیب این عناصر به صورت اگزالات آنها و در نهایت تکلیس اگزالاتهای نادر خاکی و تبدیل آنها به اکسید انجام شد فلوشیت پیشنهادی تولید محصولات اصلی حاصل از فرآوری محلول فروشویی کنسانتره معدن ساغند در شکل ۳ ارائه شده است. همانطور که در این شکل نشان داده شده است عناصر پرتوزای اورانیوم و توریم قابلیت جدایش انتخابی از محلول را دارند و استحصال آنها می‌تواند در مقرون به صرفه تر شدن پروژه اهمیت بسزایی داشته باشد. با این حال چون استحصال این عناصر جزو اهداف پژوهشی این پروژه نبود لذا بازیابی و تخلیص آن در دستور کار این پروژه قرار نگرفت. در کنار این عناصر می‌توان به عنصر ارزشمند تیتانیوم نیز اشاره کرد که بخش قابل توجهی از محلول حاصل از فروشویی کنسانتره معدن ساغند را تشکیل می‌دهد و استحصال آن می‌تواند با اهمیت باشد. محصولات اصلی و هدف در فرآیند توسعه یافته، مخلوط اکسیدهای عناصر نادر خاکی سبک و مخلوط اکسیدهای عناصر نادر خاکی سنگین می‌باشد (شکل ۴). خلوص هر یک از این محصولات بیش از ۹۹ درصد است (جدول ۳) که قابلیت فروش را برای آنها ایجاد خواهد کرد. در مجموع راندمان استحصال عناصر نادر خاکی بیشتر از ۷۰ درصد است که می‌توان در چرخه تولید صنعتی آن را تا بیش از ۸۰ درصد نیز افزایش داد. در مجموع دستاوردهای اصلی این پژوهش شامل موارد زیر می‌باشد:

- ۱) تعیین شرایط بهینه استخراج و جداسازی انتخابی اسکاندیوم به وسیله استخراج کننده‌های D2EHPA+TBP
- ۲) حذف عناصر پرتوزا در شرایط بهینه به روش استخراج حلالی
- ۳) جداسازی تیتانیوم از سایر ناخالصی‌های همراه به وسیله استخراج کننده TOA
- ۴) شرایط مناسب ترسیب آهن و سایر ناخالصی‌های با کمترین مقدار هدر رفت عناصر نادر خاکی
- ۵) تعیین مکانیزم حاکم بر استخراج و جداسازی عناصر ساماریوم و لوتتیم
- ۶) جداسازی عناصر نادر خاکی سنگین از سبک و باز پس گیری و ترسیب گروه‌های تفکیک شده نادرهای خاکی سبک و سنگین
- ۷) مشخصه‌یابی اگزالاتهای گروه‌های نادر خاکی سبک و سنگین

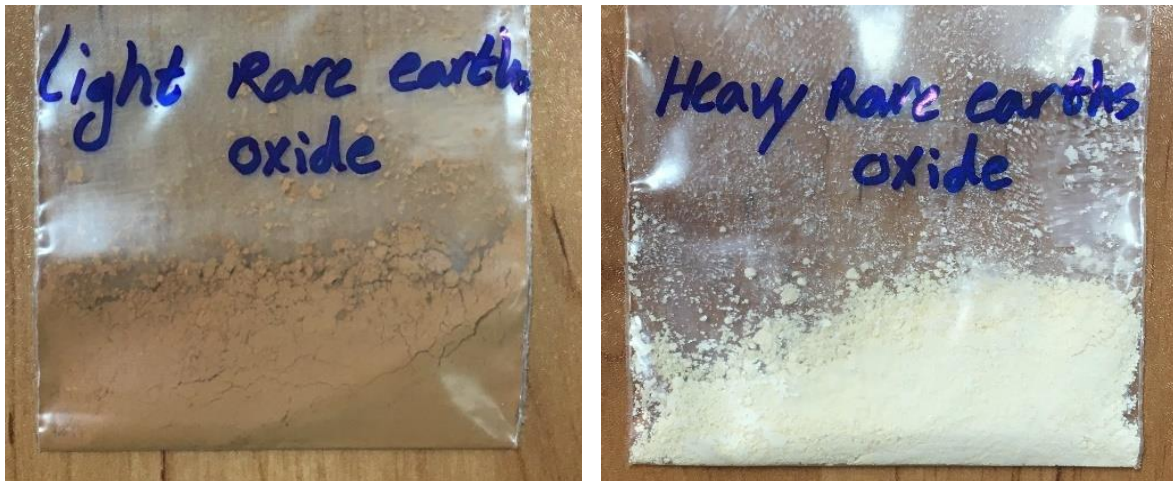
- ۸) تجزیه حرارتی اگزالات عناصر نادر خاکی و دستیابی به اکسید آنها
- ۹) مشخصه یابی اکسیدهای گروه‌های عناصر نادر خاکی سبک و سنگین

نسبت ۱ به ۵  
یک ساعت

نسبت اسید به کنسانتره ۱،۲ به ۱  
۲۵۰-۲۰۰ درجه سانتیگراد  
۱،۵-۱ ساعت



شکل ۳: فلوشیت پیشنهادی فرآوری عناصر نادر خاکی از کنسانتره عناصر نادر خاکی حاصل از کانه معدن ساغند.



شکل ۴: نمونه محصول اکسیدهای عناصر نادر خاکی سبک (تصویر سمت چپ) و اکسیدهای عناصر نادر خاکی سنگین (تصویر سمت راست).

جدول ۳: آنالیز شیمیایی ناخالصی‌های همراه اکسید نادرهای خاکی سبک (با کد Ce3) و اکسید نادرهای خاکی سنگین (با کد Y3).

Sample Code	Impurity	Ag	Al	As	Be	Bi	Ca	Cd	Co
Ce3	8073.2198	<1	751.22	<10	<1	<20	433	<1	<1
Y3	9023.05	<1	386	<10	<1	<20	325	<1	<10
Cr	Cu	Fe	Ga	Hf	Hg	K	Mg	Mn	Mo
<1	<1	815	122	<10	<10	2463	165	25	9
8	171	1022	<5	<10	<10	138	563	3	43
Na	Nb	Ni	P	Pb	Sb	Se	Sr	Ta	Te
3044	<10	65	134	<20	<20	<10	<10	<10	12
5957	<10	11	0.05	206	<20	<10	<10	<10	48
Th	Ti	Tl	U	V	W	Zn	Zr		
<10	<10	<10	<20	<10	<20	47	<10		
<10	<0.01	<10	<20	<10	<20	102	48		

### جمع بندی نهایی پروژه و ارائه پیشنهادها:

با توجه به نتایج و دستاوردهای پژوهشی این پروژه می‌توان گفت محصولات اصلی حاصل از فرآوری کنسانتره معدن آنومالی شماره ۵ ساغند می‌تواند اکسید عناصر سربیم، لانتانیم و ایتیریم باشد چراکه این عناصر بیش از ۸۰ درصد محتوای عناصر نادر خاکی این کنسانتره را تشکیل می‌دهند. لازم به ذکر است در کنار این محصولات می‌توان سایر عناصر نادر خاکی محتوای کنسانتره را به عنوان محصولات جنبی فرآوری و استحصال



نمود. در کنار محصولات بدست آمده از محتوای عناصر نادر خاکی کنسانتره، سایر عناصر اعم از عناصر پرتوزای اورانیوم و توریم و همچنین تیتانیوم، ارزش فرآوری و استحصال را خواهند داشت. در مجموع با توجه به مطالب ارائه شده می توان پیشنهادهایی را برای ادامه پژوهش ارائه داد که شامل موارد زیر می شود:

(۱) جداسازی و تولید اکسیدهای خالص سریم و لانتانیم از گروه اکسید نادرهای خاکی سبک و اکسید

خالص ایتیریم از گروه اکسید نادرهای خاکی سنگین

(۲) امکان سنجی تولید فلزات نادر خاکی سریم، لانتانیم و ایتیریم به روش الکترولیز حمام مذاب

(۳) تولید میش متال از گروه اکسید نادرهای خاکی سبک

(۴) کسب دانش فنی تولید اکسیدهای نادر خاکی از منابع ثانویه موجود در کشور